

<報文>

2020年8月上旬のPM_{2.5}広域高濃度事象における長野県内の汚染状況*

中込和徳**・町田 哲**・掛川英男**

キーワード ①火山噴煙 ②小笠原諸島西之島 ③PM_{2.5}全国分布図 ④天気図 ⑤太平洋高気圧

要 旨

2020年8月上旬の全国的なPM_{2.5}高濃度事象における長野県内の汚染状況を、県内大気常時監視データに加えて、PM_{2.5}全国分布図及び天気図を用いて詳細に解析した。その結果、県内各地域のPM_{2.5}濃度は、北信地域では5日、6日、9日に上昇、7日に低下したが、一方、中南信地域では8日に急上昇し、地域によって異なる変動パターンを示した。5日、6日、9日は、西之島の噴煙によると考えられる高濃度帯の中心軸が北信地域の北側を通過しており、中心軸により近い北信地域でより高濃度になったと考えられた。7日に北信地域のPM_{2.5}濃度が急激に低下したのは、東西にのびる前線の北側の清浄な気団に同地域が覆われたためと考えられた。一方、8日に中南信地域のPM_{2.5}濃度が急激に上昇したのは、前日に中国・四国地方～近畿地方にあった高濃度域が、天気図から推定される上空の南西風により、前線の南側を同地域まで移流してきたためと考えられた。

1. はじめに

日本国内における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 濃度は、国内外における人為発生源対策の進展等により、近年全国的に低下傾向にあり、高濃度事象の発生頻度も低下傾向にある^{1)~5)}。一方で、桜島をはじめとした火山噴煙の影響による高濃度事象が、近年、相対的に目立つ傾向にある^{6)~12)}。このような中、2020年8月上旬に大規模なPM_{2.5}高濃度事象が全国的に発生し、長野県内においても8月5日から9日にかけて、PM_{2.5}濃度が近年まれな高濃度に達した。本事象は、梅雨明け後の夏季に特徴的な太平洋高気圧の北西の縁に日本列島全体が安定して緩やかに覆われた気象条件下で、その縁に沿って、当時活発な噴火活動を継続していた小笠原諸島西之島の噴煙が、九州地方をはじめとした日本列島全体に流れ込んだことが主な要因である可能性が指摘されている^{13)~16)}。

このような火山噴煙が大気環境に及ぼす影響は大きく、日頃からその影響を注視し、備えることが重要である¹⁷⁾ことから、本報では、今後同様の事象が発生した場合における迅速かつ適切な対応に資するため、本高濃度事象の発生状況の詳細な解析を行った。

2. 調査方法

解析対象期間は、本県においてPM_{2.5}濃度が上昇した、

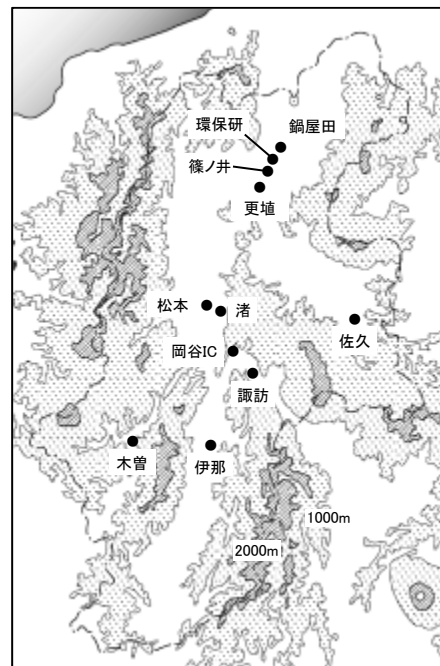


図1 長野県内大気常時監視データの解析対象地点図

2020年8月5日から9日を含む、8月1日から11日とした。県内大気常時監視データの解析対象地点は、図1及び表1に示した11か所の県内PM_{2.5}測定局とし、北信地域は環境保全研究所 (環境研)、篠ノ井、更埴インターチェンジ (更

*Air pollution in Nagano Prefecture at the widely elevation of PM_{2.5} in early August 2020

**Kazunori NAKAGOMI, Satoshi MACHIDA, Hideo KAKEGAWA (長野県環境保全研究所) Nagano Environmental Conservation Research Institute

埴IC), 鍋屋田の4局, 中南信地域は松本, 木曾, 諏訪, 伊那, 松本渚交差点(渚), 岡谷インターチェンジ(岡谷IC)の6局, 東信地域は佐久の1局であった。解析対象項目は, 表1に示したPM_{2.5}, 浮遊粒子状物質(SPM), 二酸化硫黄(SO₂), 光化学オキシダント(O_x), 窒素酸化物(NO_x)の5項目とした。

測定方法については, PM_{2.5}は環保研, 更埴IC, 松本, 伊那, 佐久の5局が光散乱法とβ線吸収法のハイブリッド法(Thermo Fisher Scientific, SHARP5030), その他6局がβ線吸収法(東亜DKK, FPM-377)であった。SPM, O_x及びNO_xは, それぞれ全ての局で, β線吸収法, 紫外線吸収法及び化学発光法であった。SO₂は松本と佐久の2局が溶液導電率法, その他5局が紫外線蛍光法であった。なお, 伊那のNO_xは全期間, 松本のPM_{2.5}は8月1日1時から7日12時まで, とともに機器故障のため欠測であった。

PM_{2.5}全国分布図については, 国立環境研究所のウェブサイト「環境GIS」の「そらまめ君ギャラリー」の分布図を利用した。また, 天気図については, 気象庁のウェブサイト「過去の天気図」を利用した。なお, 解析に用いた県内大気常時監視データ, PM_{2.5}全国分布図及び天気図は, いずれも速報値のデータ及び図を使用した。

3. 結果及び考察

3.1 長野県内の大気汚染物質濃度の変動状況

3.1.1 PM_{2.5}

8月1日から11日までの県内各測定局におけるPM_{2.5}日平均値の経日変化の様子を図2に示した。PM_{2.5}濃度の変動パターンは地域によって異なり, 実線で示した北信地域の4局(環保研, 篠ノ井, 更埴IC, 鍋屋田)は5日, 6日及び9日に, 点線で示した中南信地域の6局(松本, 木曾, 諏訪, 伊那, 渚, 岡谷IC)は8日に高濃度となり, 破線で示した東信地域の佐久局は北信地域と中南信地域の間の変動パターンを示した。特に8日の中南信地域における高濃度時には, 松本及び渚において日平均値が50µg/m³を超え, 注意喚起の暫定的な指針値である70µg/m³に近い値となった。

PM_{2.5}高濃度期間における変動状況をより詳細に見るため, 8月4日~9日の北信, 中南信の各地域における1時間値の経時変化の様子を図3に示した。前半の4日から6日までは, 両地域ともに, いずれの日も, 6時頃から12時頃にかけてPM_{2.5}濃度が上昇し, その後18時頃までやや上昇傾向を示すものの, それ以降は翌日6時頃まで低下傾向を示した。両地域のPM_{2.5}濃度を比較すると, 概ね北信地域の方が大きく, 5日及び6日の18時頃には1時間値の最大値が50µg/m³前後に達し, 図2で見たように北信地域でPM_{2.5}が高濃度となった。

表1 長野県内大気常時監視データの解析対象地点及び項目(○, -は測定実施の有、無を表す。)

地域区分	測定局		項目				
	種別	名称	PM _{2.5}	SPM	SO ₂	O _x	NO _x
北信	一般	環保研	○	○	○	○	○
		篠ノ井	○	○	○	○	○
	自排	更埴IC	○	○	-	-	○
		鍋屋田	○	○	-	-	-
中南信	一般	松本	○	○	○	○	○
		木曾	○	○	○	○	○
		諏訪	○	○	○	○	○
	自排	伊那	○	○	○	○	欠測
		渚	○	○	-	-	○
		岡谷IC	○	○	-	-	○
東信	一般	佐久	○	○	○	○	○

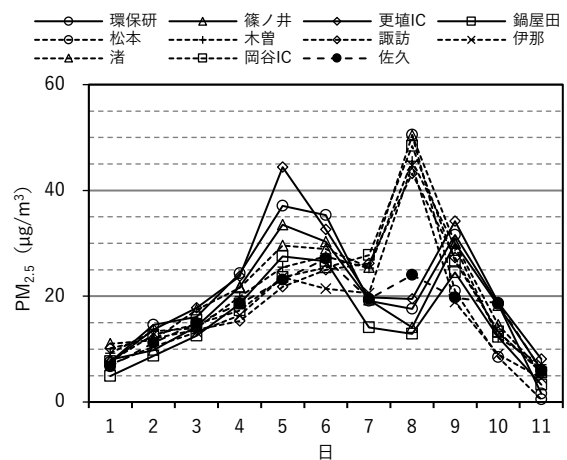


図2 長野県内におけるPM_{2.5}日平均値の経日変化(2020年8月)

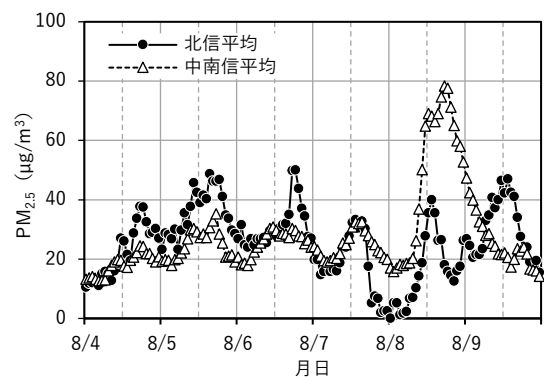


図3 北信地域及び中南信地域におけるPM_{2.5}1時間値の経時変化(2020年)

一方, 後半の7日から9日までは, PM_{2.5}濃度の時間変動パターンに地域差がみられた。7日18時頃, 北信地域ではPM_{2.5}濃度が急激に低下し, 概ね5µg/m³以下になった。一方, 中南信地域では北信地域ほど急激な濃度低下は見られず, むしろ8日9時頃から急激な濃度上昇がみられ, 18時頃には概ね80µg/m³に達した。その後は9日24時に向け

て低下傾向を示した。北信地域についても、8日9時頃から濃度上昇がみられ、14時には概ね40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に達したが、18時には20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下に低下し、中南信地域ほど濃度は上昇しなかった。その後は9日9時頃から再び上昇傾向を示し、13時前後には1時間値の最大値が40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上に達し、図2で見たように北信地域でPM_{2.5}が高濃度となった。

3.1.2 その他の大気汚染物質

北信、中南信の各地域における、PM_{2.5}と他の大気汚染物質（SPM、SO₂、O_x及びNO_x）の経日変化の様子を図4に示した。両地域ともに、SPM及びSO₂はPM_{2.5}と濃度変動パターンが一致していた。一方で、O_x及びNO_xについては、いずれの地域もPM_{2.5}と濃度変動パターンに類似性は見られなかった。

一般に人為起源の大気汚染の場合、PM_{2.5}とともにO_xやNO_xも濃度上昇すると考えられるが、本事例では、SO₂、SPM及びPM_{2.5}といった火山噴煙に特徴的な物質だけが濃度上昇しており、このことからPM_{2.5}濃度上昇の主な原因が火山噴煙であることが示唆された。

3.2 PM_{2.5}濃度の広域的な変動状況

3.2.1 8月4日から6日までの状況（前半）

火山噴煙の影響発生には、天気図に示される総観規模の気象状況が重要である^{18),19)}ため、県内PM_{2.5}高濃度期間を含む8月4日～9日の各日について、PM_{2.5}全国分布図及び天気図をもとに、PM_{2.5}濃度の広域的な変動状況を解析した（図5）。

4日6時には九州地方を中心に高濃度地点（35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上、以下同様）がみられたが、6時間後の12時には九州地方～中国・四国地方を中心に東北地方に及ぶ広い範囲で高濃度地点がみられ、その分布が大きく変化した。さらに6時間後の18時については、高濃度地点の分布が北東にやや移動して全体的に濃度がやや上昇したものの、6時から12時にかけての変化ほど大きな変化は見られなかった。その後、4日24時及び5日6時については、全体的に濃度が低下傾向を示したものの、高濃度地点の分布に大きな変化は見られなかった。

5日12時には高濃度地点の中心が東に移動して中国・四国地方～近畿地方に移り、全体的に大きな濃度上昇がみられた。18時には高濃度地点の分布が北東にやや移動して全体的に濃度がやや上昇したが、その後6日6時までは、濃度が全体的に低下傾向を示したものの、高濃度地点の分布に大きな変化は見られなかった。

6日12時には高濃度地点の中心が東に移動して中部地方～東北地方に移るとともに、九州地方に新たな高濃度地点が発生し、全体的に濃度上昇がみられた。18時には高濃度地点の分布が北東にやや移動して全体的に濃度が

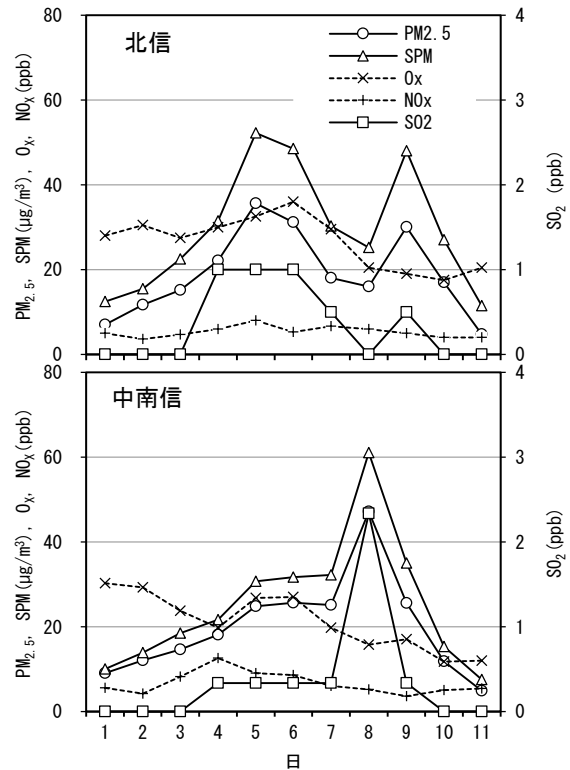


図4 北信地域（上段）及び中南信地域（下段）における大気汚染物質日平均値の経日変化（2020年8月、中南信SO₂は松本を除く）

やや上昇したが、その後7日6時までは、全体的に濃度が低下傾向を示したものの、高濃度地点の分布に大きな変化は見られなかった。

以上まとめると、全体としては日を追うごとにPM_{2.5}高濃度域は西から東に移動したが、1日を通して一定の速度及び濃度で連続的に変化するのではなく、6時から18時（特に6時から12時）にかけて、前日とは離れた地域で急激に濃度上昇するなど、分布が大きく変化した後、翌日6時までは大きな変化を示さないという間欠的なものであった。

一方、4日6時から7日6時までのいずれの天気図においても、東北地方以南の日本列島は、夏季に特徴的に発達する太平洋高気圧の北西の縁に広く緩やかに覆われていた。一般に北半球の上空では、高圧部を右に見て等圧線に沿った方向に、等圧線の密集度（気圧傾度）に比例した強さの風（地衡風）が吹くことから、この間の日本列島上空では北東方向に向かう弱い風が広く吹いていたと考えられた。

以上のことから、上述の4日6時から7日6時までのPM_{2.5}濃度分布の間欠的な変化は、日本列島上空を等圧線に沿って吹く弱い南西風により移動してきた西之島の噴煙が、日射により発達した混合層内に取り込まれ、地上におけるPM_{2.5}濃度の上昇をもたらしたことによるものと考えられ、噴煙高度における風が強くないタイプの移流拡散²⁰⁾

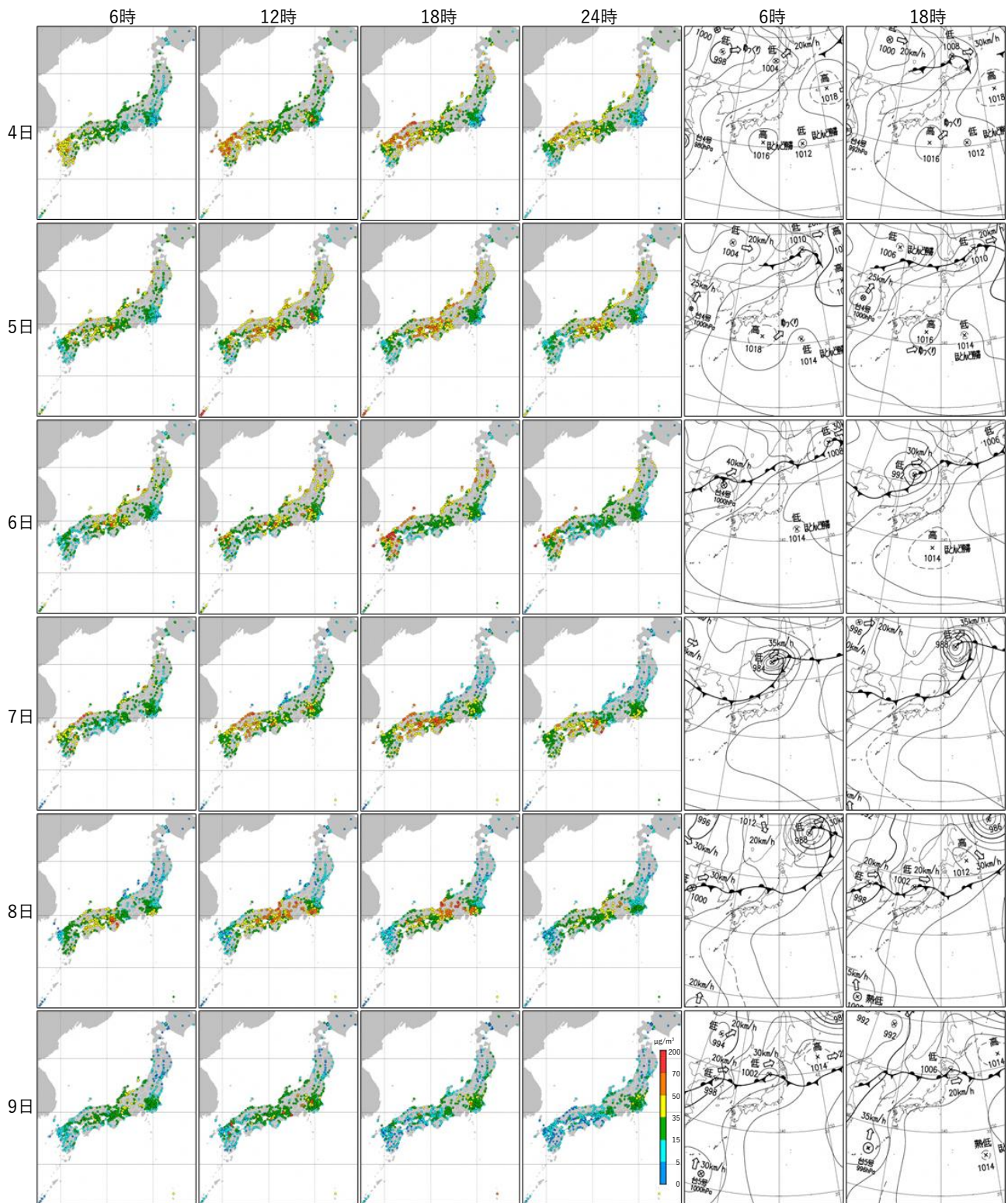


図5 2020年8月4日から9日のPM_{2.5}全国分布図（国立環境研究所提供）及び天気図（気象庁提供）
（日本列島周辺部分を切出し、PM_{2.5}の濃度スケールを加工して表示）

と一致した特徴が見られた。

4日、5日、6日の18時のPM_{2.5}全国分布図をみると、西之島の噴煙による高濃度地点が日本列島に沿って南西-北東方向に帯状に分布しており、その中心軸が本県付近に

おいては北信地域のすぐ北側を通過していると考えられた。このため図2及び図3に示したように、中南信地域に比べて中心軸により近い北信地域で、より高濃度になったと考えられた。

3.2.2 8月7日から9日までの状況（後半）

7日6時以降のPM_{2.5}濃度分布についてみると、九州地方～中国地方にあった高濃度地点の中心が、7日12時には東に移動して中国・四国地方に移った一方で、中部地方北部から東北地方にかけては大きな濃度低下がみられ、本県北部付近を通る緯線の南北でPM_{2.5}濃度が大きく異なる状況がみられた。18時には高濃度地点の中心が東にやや移動して中国・四国地方～近畿地方に移ったが、その後8日6時までは、全体的に濃度が低下傾向を示したものの、高濃度地点の分布に大きな変化は見られなかった。

8日12時には、高濃度地点の中心が東に移動して近畿地方～中部地方に移ったが、本県北部付近を通る緯線の南北でPM_{2.5}濃度が大きく異なる状況は引き続きみられた。18時には高濃度地点の分布が東にやや移動したが、その後9日6時までは、全体的に濃度が低下傾向を示したものの、高濃度地点の分布に大きな変化は見られなかった。

9日12時以降は、弱いながらも中部地方にあった高濃度地点の中心が東に移動して関東地方の北部に移っていった。また、本県北部付近にあったPM_{2.5}濃度の不連続線は、概ね秋田県及び岩手県付近まで北上する状況がみられた。

以上、7日6時から9日24時までのPM_{2.5}濃度分布は、それ以前と同様に間欠的に変化したが、その分布には本県北部付近の緯線の南北でPM_{2.5}濃度が大きく異なる特徴がみられた。

一方で、7日6時から9日18時までの天気図をみると、7日6時に北海道の西海上に中心を持つ低気圧から日本海海上を南西に延びていた前線が、7日18時には低気圧の中心が北海道の北北東海上に移動したのに伴い、本県北部付近の緯度を東西に延びて日本列島を横切った。その後、8日18時ころまでは、低気圧の中心は北東へ移動するものの、前線は概ね同じ位置で日本列島を横切っていたが、9日6時には秋田県及び岩手県の緯度まで北上した。一般に前線は異なる気団の境界であるため、その両側では大気汚染の状況も大きく異なっていたと考えられた。また前線の南側については、7日6時以降も、それ以前と同様に太平洋高気圧の北西の縁に覆われ、上空では概ね等圧線に沿った南西風が吹いていたと考えられた。

以上のことから、上述の7日6時から9日24時までのPM_{2.5}濃度分布に関しては、前線の南側については、4日6時から7日6時まで（前半）と同様のメカニズムにより、高濃度域が間欠的に西から東へ移動したのと考えられたが、前線の北側については、その南側とは異なる清浄な気団に覆われてPM_{2.5}濃度が低くなり、両者の間に大きな濃度差が生じたのと考えられた。

図3に示したように、7日18時頃に北信地域のPM_{2.5}濃度が急激に低下したのは、同地域が上述の前線の北側の気団に覆われたためと考えられた。一方、8日9時頃から中南信地域のPM_{2.5}濃度が急激に上昇したのは、同地域が前線の南側に位置し、前日の7日18時頃に中国・四国地方～近畿地方にあった高濃度域が上空の南西風により同地域まで移流してきたためと考えられ、天気図から推定される風上地域における前日のPM_{2.5}濃度の状況から、翌日のPM_{2.5}濃度の上昇を推測できる可能性が示唆された。また、9日に北信地域でPM_{2.5}濃度が上昇したのは、上述のように前線が北上したことにより、同地域が前線の南側の気団に覆われ、西之島の噴煙の影響をより強く受けるようになったためと考えられた。

4. まとめ

2020年8月上旬の西之島噴煙によるPM_{2.5}高濃度事象の発生状況を、県内の大気常時監視データに加えて、PM_{2.5}全国分布図及び天気図を用いて詳細に解析し、以下の知見を得た。

- ・県内のPM_{2.5}濃度変動について、北信地域は5日、6日、9日に、中南信地域は8日に濃度上昇し、地域によってパターンに違いがみられ、特に8日の中南信地域では、松本及び渚において日平均値が50μg/m³を超える高濃度となった。
- ・5日、6日、9日は、西之島噴煙の中心軸が北信地域の北側を通過しており、中南信地域に比べて中心軸により近い北信地域でPM_{2.5}濃度がより高濃度になったと考えられた。
- ・7日に北信地域のPM_{2.5}濃度が急激に低下したのは、同地域が前線の北側の清浄な気団に覆われたためと考えられた。
- ・8日に中南信地域のPM_{2.5}濃度が急激に上昇したのは、前日に中国・四国地方～近畿地方にあった高濃度域が上空の南西風により同地域まで移流してきたためと考えられ、天気図から推定される風上地域における前日のPM_{2.5}濃度の状況から、翌日のPM_{2.5}濃度の上昇を推測できる可能性が示唆された。
- ・PM_{2.5}全国分布図にみられる高濃度域の変化は、6時から18時（特に6時から12時）に大きく変化し、その後翌日6時までは大きく変化しないという間欠的な変化であったが、これは上空における噴煙の水平移流過程と、日中の混合層発達による地表への取り込み過程の重ね合わせとして理解された。

以上のことから、今後、今回同様の火山噴煙によるPM_{2.5}高濃度事象が発生した際に、PM_{2.5}の注意喚起情報の

発表等を含め、迅速かつ適切に対応するためには、前日までのPM_{2.5}全国分布図及び天気図の状況をもとに高濃度域の移動状況を把握し、本県における高濃度発生の可能性を推定する手法の整備が望まれる。

5. 引用文献

- 1) 鶴野伊津志, 王哲, 弓本桂也, 板橋秀一, 長田和雄, 入江仁士, 山本重一, 早崎将光, 菅田誠治: PM_{2.5}越境問題は終焉に向かっているのか?. 大気環境学会誌, **52**, 177-184, 2017
- 2) 長谷川就一, 寺本佳宏, 武直子: 全国常時監視データの解析によるPM_{2.5}の経年推移と地域的特徴. 全国環境研会誌, **45**, 74-80, 2020
- 3) 関東地方大気環境対策推進連絡会微小粒子状物質調査会議: 平成29年度微小粒子状物質合同調査報告書, 108-119, 2019
- 4) 環境省: 微小粒子状物質等専門委員会(第8回)議事次第・配付資料 資料1 大気環境中のPM_{2.5}の状況, <https://www.env.go.jp/council/07air-noise/y078-07/mat801.pdf> (2021.5.5アクセス)
- 5) 環境省 水・大気環境局: 令和元年度 大気汚染物質(有害大気汚染物質等を除く)に係る常時監視測定結果, https://www.env.go.jp/air/mat01R1_rep.pdf (2021.5.5アクセス)
- 6) 田中泰宙, 新堀敏基, 関山剛, 清水厚, 長田和雄: 大気汚染と火山噴火: 2013年7月の桜島噴火は本州の大気汚染に影響したか?. 日本気象学会2013年度秋季大会講演予稿集, 93, 2013
- 7) 渡辺幸一, 山崎暢浩, 水落亮佑, 岩本洋子, 松木篤, 定永靖宗, 坂東博, 岩坂泰信: 2012年7月下旬の能登半島珠洲市で観測された高濃度の二酸化硫黄および硫酸塩粒子: 桜島の噴煙の影響について. 天気, **62**, 201-208, 2015
- 8) 中込和徳, 花岡良信, 本間大輔, 五十嵐歩, 宮地斗美, 佐々木一敏, 細井要一: 夏季の長野市におけるPM_{2.5}中SO₄²⁻の発生源寄与推定. 大気環境学会誌, **50**, 176-184, 2015
- 9) 渡辺幸一, 山崎暢浩: 能登半島珠洲市における大気中の二酸化硫黄および硫酸塩粒子濃度の測定: 越境汚染と桜島噴煙の影響について. *J. Ecotechnol. Res.*, **19**, 17-24, 2020
- 10) 山村由貴, 新谷俊二, 力寿雄, 中川修平, 王哲, 鶴野伊津志: 夏季の太平洋高気圧条件下における高濃度PM_{2.5}に対する火山の寄与解析. 大気環境学会誌, **55**, 169-181, 2020
- 11) 金聖鈞, 山崎暢浩, 松原弘樹, 佐藤博仁, 竹内皓基, 渡辺幸一: 北陸地方におけるPM_{2.5}中の水溶性イオン成分及び黄砂粒子の変化特性. 第56回大気環境学会年会講演要旨集, 283, 2015
- 12) 加藤祥生, 松木篤, 申基澈, 中野孝教: 能登半島で採取した大気エアロゾル中Sr-Pb同位体比から見られた桜島火山灰の影響. 第57回大気環境学会年会講演要旨集, 239, 2016
- 13) 松井渉: 九州各地で続く煙霧 小笠原諸島・西之島の噴煙が影響?, <https://tenki.jp/forecaster/watarumatsui/2020/08/04/9257.html> (2021.5.7アクセス)
- 14) ウェザーニューズ: 沖縄や西日本のPM_{2.5}濃度上昇, 西之島の火山ガス(二酸化硫黄等)が原因か, <https://weathernews.jp/s/topics/202008/050205/> (2021.5.7アクセス)
- 15) 竹村俊彦: 夏には珍しいPM_{2.5}高濃度 西之島噴火, <https://news.yahoo.co.jp/byline/takemuratoshiko/20200807-00192063/> (2021.5.7アクセス)
- 16) 福岡大学: 九州地方8月上旬の煙霧は「西之島噴火」の噴煙が原因, <https://www.fukuoka-u.ac.jp/fukudaism/coalition/20/08/15933.html> (2021.5.7アクセス)
- 17) 大気環境学会誌編集委員会: 「火山噴火と大気環境」の連載にあたって. 大気環境学会誌, **50**, A47, 2015
- 18) 西沢匡人, 茅野政道: メソスケール気象モデルと結合した大気化学物質輸送モデルの開発と三宅島火山ガスの大気拡散への適用. 大気環境学会誌, **39**, 31-42, 2004
- 19) 大塚治子, 井上広史, 古田正次: 三宅島2000年噴火の愛知県大気環境への影響. 愛知県環境センター所報, **29**, 1-15, 2001
- 20) 木下紀正: 火山噴火と大気環境 —第1講 火山活動と噴出物の動態—. 大気環境学会誌, **50**, A48-57, 2015